



Departamento de Comunicaciones

Facultad de Artes y Ciencias

Licenciatura en Imagen y Sonido

**Desarrollo y caracterización de paneles
fonoabsorbentes a base de pulpa de
celulosa y chaguar.**

Alumno: Santiago Tomás Correa

Director: Lic. José Saavedra, Ing. Andrés Larrahona

Año: 2024

Autoridades

Gran Canciller

S.E.R. Mons. Mario Antonio Cargnello

Rector

Ing. Rodolfo Gallo Cornejo

Vicerrectora Académica

Mg. Constanza Diedrich

Jefe Dpto. Comunicaciones Sociales

Dr. Gustavo A. Iovino

Resumen:

En este proyecto, se diseñan y fabrican paneles fonoabsorbentes caseros utilizando pulpa de celulosa y chaguar como materiales principales. Se evalúa el coeficiente de absorción acústica de los paneles caseros siguiendo la normativa ISO 354 y se comparan con paneles comerciales de gama baja y profesional. Los resultados indican que los paneles caseros presentan coeficientes de absorción similares a los paneles de gama baja, lo que los convierte en una opción atractiva para mejorar la acústica en entornos de grabación domésticos de manera económica y sustentable.

Palabras clave: Panel fonoabsorbente, Coeficiente de absorción, Pulpa de celulosa, Fibra de chaguar.

Abstract:

This project designs and manufactures homemade sound absorbing panels using cellulose pulp and chaguar as main materials. The sound absorption coefficient of the homemade panels is evaluated according to ISO 354 standards and compared with commercial panels of low and professional range. The results indicate that the homemade panels have similar absorption coefficients to low-end panels, making them an attractive option for improving acoustics in domestic recording environments in a cost-effective and sustainable manner.

Keywords: Sound absorbing panel, Absorption coefficient, Cellulose pulp, Chaguar fiber.

ÍNDICE:

Introducción	6
Marco Metodológico	7
Estado de arte	
Paradigma	
Tipo de investigación	
Muestreo	
Objetivo	
Supuestos	
Operacionalización	
Tiempo y Contexto	
Metodología	
Procedimientos	
Norma ISO 354	
Método de la respuesta impulsiva integrada	
Método directo	
Montura tipo A	
Cámara Reverberante	
Micrófono	
Placa de Sonido	
Software de Control	
Condiciones Ambientales	
Expresión de Resultados	
Cálculo de los tiempos de reverberación T1 y T2	
Cálculo de A1, A2 y AT	
Cálculo de As	
Repetibilidad	
Marco Teórico	22
Sonido	
Reverberación	
Tiempo de Reverberación	
Coeficiente de Absorción	
Materiales fonoabsorbentes	
Variación de la absorción en función del espesor del material	
Variación de la absorción en función de la porosidad del material	
Marco Referencial	30
Pulpa de celulosa	
Chaguar	
Trabajo de campo	35
Fabricación de paneles	
Descripción materiales	
Equipos	
Fabricación	
Resultados	40
Dimensiones del panel final	

Tiempos de reverberación T1 y T2	
Coeficiente de absorción acústica A_s	
Análisis de los resultados	
Comparación coeficiente de absorción con paneles del mercado	
Repetibilidad	
Costos	

Propuesta / Conclusiones	47
BIBLIOGRAFÍA	51
ANEXO	52

Agradecimientos:

El autor de este proyecto desea expresar su sincero agradecimiento a su familia por el apoyo incondicional a lo largo de su carrera universitaria y durante el desarrollo de este proyecto.

Introducción:

Este proyecto busca contribuir al diseño de un panel desarrollado con materiales considerados sustentables, aunando los beneficios de la absorción acústica y la reducción del tiempo de reverberación en interiores (mejora de la inteligibilidad del habla, reducción de la fatiga auditiva, optimización para la música, mayor privacidad acústica) en un producto sustentable y local.

En el proceso de diseño del panel fonoabsorbente, se determina su eficacia en el acondicionamiento acústico utilizando parámetros específicos, con un enfoque principal en el coeficiente de absorción. Para asegurar la precisión y la validez de las mediciones, la evaluación se realiza de acuerdo con las directrices de la norma ISO 354:2003 Medición de la absorción acústica en una cámara reverberante. Esta norma internacional establece protocolos para la medición de la absorción acústica en una cámara de reverberación. La comparación con los paneles fonoabsorbentes disponibles en el mercado de Argentina permite evaluar la competitividad del panel propuesto en términos de viabilidad económica y su contribución a la sostenibilidad ambiental.

Este proyecto está inspirado en la investigación de Jiménez Salinas, Magaly del Carmen y Ochoa Santín, Gabriel Agustín, titulada: "Reutilización del bagazo de la caña de azúcar, en la elaboración de tableros y su aplicación en paredes, pisos y cielos falsos", donde se muestran diferentes tableros y sus procesos de fabricación casera.

Se comienza con una recopilación bibliográfica sobre acondicionamiento acústico, centrándose en absorción acústica y fichas técnicas de los paneles fonoabsorbentes más comunes del mercado Argentino. Posteriormente, se lleva a cabo la obtención de la materia prima necesaria, incluida la pulpa de celulosa donada por la empresa Ledesma y el chaguar proporcionado por la Asamblea de Dios de la comunidad wichi. Luego, se procede con la construcción de los paneles a base de pulpa de celulosa y chaguar. Finalmente, se realizan mediciones y pruebas de los paneles según la norma ISO correspondiente, con el objetivo de caracterizar su absorción acústica y verificar su eficacia como paneles fonoabsorbentes.

Marco Metodológico

Estado de arte:

1)

Louena Shtrepi, Andrea Prato (2020). Towards a sustainable approach for sound absorption assessment of building materials: Validation of small-scale reverberation room measurements.

Politecnico di Torino (INRiM)

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0003682X2030102X>

S0003682X203 0102X

Resumen:

En este estudio, se investiga la viabilidad de utilizar cámaras de reverberación a pequeña escala (SSRR) para evaluar el coeficiente de absorción acústica de materiales de construcción. Se comparan los resultados de las pruebas realizadas en SSRR con las obtenidas en el tubo de impedancia y la cámara de reverberación a escala completa (FSRR). Se encontró que los datos de absorción acústica obtenidos con SSRR son compatibles con los de FSRR en el rango de 400 a 5000 Hz para materiales porosos, lo que sugiere que las SSRR pueden ser una alternativa confiable y económica para caracterizar la absorción acústica de materiales de construcción.

Aporte:

El estudio de Louena Shtrepi y Andrea Prato sobre la validación de las mediciones de absorción acústica en cámaras de reverberación a pequeña escala aporta una metodología validada para evaluar el coeficiente de absorción acústica de materiales de construcción. Este aporte es especialmente relevante para este proyecto, ya que valida el uso de una cámara a pequeña escala para medir el coeficiente de absorción acústica de los paneles fonoabsorbentes fabricados.

2)

Serrano Gámir, Guillermo (2022). Regeneración de papel para la fabricación de paneles acústicos. [Proyecto Fin de Carrera]. E.T.S. Arquitectura (UPM).

Visado: 8/4/2023

Resumen :

En el trabajo se hace una revisión bibliográfica de los diferentes materiales utilizados en la fabricación de aislantes acústicos y se explica la importancia del reciclaje y la regeneración en la industria de la construcción. El objetivo principal del proyecto es desarrollar un material aislante acústico a partir de papel reciclado y regenerado, además se llevan a cabo diferentes pruebas para determinar las características acústicas del material, como la absorción sonora y la transmisión del sonido. Los resultados de las pruebas acústicas realizadas en los paneles fabricados con papel reciclado muestran que tienen una buena capacidad de absorción acústica y son capaces de reducir los niveles de ruido en diferentes frecuencias. Sin embargo, se concluye que es necesario mejorar la resistencia mecánica de los paneles para garantizar su durabilidad y resistencia en aplicaciones reales.

Aporte:

Aunque el material resultante no esté listo para un aislamiento cien por ciento efectivo, vale la pena seguir investigando y realizando ensayos para fomentar su desarrollo, considerando que hablamos de un material ecológico 100% reciclado y 100% reciclable

3)

Francesco D'Alessandro, Giulio Pispola (2005). "Propiedades de absorción acústica de materiales fibrosos en una sala de reverberación mejorada." Universidad de Perugia

https://www.researchgate.net/profile/Francesco-Dalessandro-4/publication/228651416_Sound_absorption_properties_of_sustainable_fibrous_materials_in_an_enhanced_reverberation_room/links/00b49515401d6cafe5000000/Sound-absorption-properties-of-sustainable-fibrous-materials-in-an-enhanced-reverberation-room.pdf

Visado: 8/4/2023

Resumen:

En este estudio, se investigaron nuevos materiales fibrosos sostenibles, Kenaf y poliéster reciclado. Estos materiales tienen aplicaciones crecientes debido a su baja toxicidad y efectos contaminantes, especialmente en la mitigación del ruido y la corrección acústica de edificios. Se llevaron a cabo pruebas en una sala de reverberación según la norma ISO 354 para medir sus

propiedades de absorción acústica y compararlos con materiales fibrosos tradicionales. Se optimizó la sala para garantizar mediciones precisas, incluyendo la disposición no paralela de las muestras en el suelo y el uso de difusores y reflectores, lo que mejoró significativamente los resultados.

Aporte:

El rendimiento medido de los materiales ensayados resultó ser totalmente comparable al de las fibras de lana mineral, que son ampliamente utilizadas en la industria de la absorción acústica. Esto respalda la idea de que los materiales sostenibles, como la pulpa de celulosa y el chaguar, pueden ofrecer una alternativa válida a los materiales convencionales. Además, al considerar su bajo impacto en el medio ambiente y la salud humana, estos materiales sostenibles se presentan como opciones prometedoras en la fabricación de paneles absorbentes acústicos.

4)

Jiménez Salinas, Magaly del Carmen, Ochoa Santín, Gabriel Agustín(2014). Reutilización del bagazo de la caña de azúcar, en la elaboración de tableros y su aplicación en paredes, pisos y cielos falsos.

<https://dspace.utpl.edu.ec/handle/123456789/11061>

Visado: 15/4/2023

Resumen:

El estudio se centra en la reutilización del bagazo de caña de azúcar para la creación de paneles constructivos ecológicos. La investigación resalta la importancia de abordar la excesiva producción de bagazo de caña y la necesidad de encontrar soluciones sostenibles para el manejo de residuos orgánicos. Se desarrollaron tableros que cumplen con estándares de resistencia de acuerdo con la normativa ecuatoriana, y estos tableros se perfilan como materiales amigables con el medio ambiente en aplicaciones de construcción.

Aporte:

Este enfoque podría contribuir a la investigación demostrando la viabilidad de utilizar el bagazo de caña de azúcar como material renovable y sostenible en la creación de soluciones acústicas ecológicas.

5)

J. Ramis, J. Alba, R. del Rey, E. Escuder, V. J. Sanchís (2010). Nuevos materiales absorbentes acústicos basados en fibra de kenaf. *Materiales de construcción*. Vol. 60, Nº. 299, págs. 133-143, <https://doi.org/10.3989/mc.2010.50809>

Resumen:

El estudio mencionado se centra en el desarrollo de nuevos materiales absorbentes acústicos utilizando fibra de kenaf. El kenaf es una planta de rápido crecimiento que se puede cultivar en regiones cálidas y húmedas, y su fibra tiene características similares a la fibra de vidrio utilizada en los materiales absorbentes acústicos convencionales.

El trabajo se divide en dos partes principales. En la primera parte, se evaluaron las propiedades acústicas de diferentes muestras de fibra de kenaf para determinar su potencial como material absorbente acústico. Se encontró que la densidad y la geometría de las muestras de fibra de kenaf tienen un impacto significativo en su capacidad para absorber el sonido.

En la segunda parte, se fabricaron paneles absorbentes acústicos utilizando fibra de kenaf y se compararon sus propiedades acústicas con las de los paneles fabricados con materiales absorbentes acústicos convencionales. Los resultados mostraron que los paneles de fibra de kenaf tienen una capacidad de absorción de sonido similar a la de los paneles convencionales, y que además presentan ventajas como ser un material renovable y biodegradable.

Aporte:

Se demostró que los materiales derivados de la fibra de Kenaf tienen un alto potencial como alternativa a los materiales sintéticos convencionales utilizados en la industria acústica.

Paradigma:

El propósito de esta investigación es demostrar la operatividad de paneles aislantes acústicos desarrollados a partir de pulpa de celulosa y chaguar. Para lograr este objetivo, se emplea una metodología cuantitativa dentro del paradigma positivista, que permitirá abordar de manera precisa y medible el problema planteado. Según Sampieri (2014), el enfoque cuantitativo

en la investigación se caracteriza por la necesidad de medir y estimar magnitudes de los fenómenos o problemas de investigación.

El investigador plantea un problema de estudio delimitado y concreto sobre el fenómeno en evolución, y formula preguntas de investigación específicas (Sampieri, 2014). En el caso del proyecto, se analiza y mide la eficacia acústica de los paneles a base de material elegido.

Para evaluar el comportamiento acústico de los paneles, se utilizó la norma ISO 354 como método de medición. En este sentido, el enfoque cuantitativo de recolección de datos se fundamenta en la medición de variables utilizando procedimientos estandarizados aceptados por la comunidad científica (Sampieri, 2013). La norma ISO 354 proporciona datos cuantitativos que pueden ser representados mediante números y analizados con métodos estadísticos.

Tipo de investigación:

Sampieri en "Metodología de la investigación" asemeja a los estudios exploratorios a realizar un viaje hacia lo desconocido donde no se dispone de guías previas ni documentación detallada. Como resultado, es esencial llevar a cabo investigaciones exploratorias para comprender mejor las características acústicas de este material y su idoneidad como material fonoabsorbente. Esto implica la necesidad de realizar mediciones, ensayos y análisis detallados para descubrir las propiedades acústicas de la pulpa de celulosa, el chaguar y su potencial en la absorción del ruido. Al igual que los estudios exploratorios, esta investigación servirá para obtener información valiosa sobre un tema poco conocido, identificar variables promisorias y establecer las bases para investigaciones más detalladas en el futuro.

Universo, muestra y unidad de análisis:

El universo se define como todos los paneles fonoabsorbentes disponibles en el mercado argentino. La muestra se conformó a partir de una recopilación de fichas técnicas proporcionadas por fabricantes de paneles fonoabsorbentes. Esta selección se orientó hacia aquellos paneles cuyos coeficientes de absorción acústica guardan mayor

similitud con los obtenidos en el panel casero diseñado en el proyecto.

La unidad de análisis corresponde a cada uno de los paneles fonoabsorbentes elegidos para la comparación. Para la selección de la muestra, se establecieron criterios basados en la comparabilidad de las características físicas y acústicas, incluyendo el grosor, los materiales utilizados en la fabricación y el diseño estructural.

Muestreo:

Según el libro "Sampling: Design and Analysis" de Lohr S. , el muestreo estratificado es un método en el que la población se divide en grupos mutuamente excluyentes y exhaustivos llamados estratos, y luego se toma una muestra aleatoria de cada estrato. Este enfoque se utiliza para garantizar que cada subgrupo de la población esté representado en la muestra, lo que puede mejorar la precisión de las estimaciones y permitir comparaciones más detalladas entre grupos.

Para definir el muestreo, se llevó a cabo una recopilación de fichas técnicas de fabricantes de paneles fonoabsorbentes del mercado argentino, centrándose en los coeficientes de absorción acústica. Los grupos se dividieron en dos estratos: la gama "baja" o económica y la gama "alta" o profesional. Esta estratificación permite una selección representativa de paneles que abarcan diferentes niveles de precio y calidad.

Objetivo:

Evaluar la eficacia de paneles porosos fabricados con pulpa de celulosa y chaguar como material absorbente

Objetivos específicos:

- Recopilar bibliografía sobre distintos tipos de paneles fonoabsorbentes
- Analizar los tiempos de reverberación obtenidos de acuerdo con la norma ISO 354.
- Determinar el coeficiente de absorción de los paneles
- Identificar procesos e insumos para el desarrollo del material absorbente

Supuestos:

- La utilización de material sustentable en la fabricación de los paneles fonoabsorbentes tendrá un impacto positivo en la reducción de tiempo de reverberación
- Los coeficientes de absorción del material será competitivo contra opciones disponibles en el mercado

Operacionalización:

Variable	Dimensión	Indicador	Items
Absorción Acústica	Transmisión acústica	• Coeficiente de absorción	Norma ISO 354 Cámara reverberante
Panel absorbente	Diseño estructura	• Espesor del panel • Dimensión del panel	Construcción

Tiempo y Contexto:

El proyecto de investigación se desarrolla en las provincias de Salta y Jujuy, Argentina. En Salta capital se lleva a cabo la construcción y prueba de los paneles fonoabsorbentes, mientras que en Fortín Dragones se realiza la obtención del chaguar. En Jujuy, específicamente en el pueblo Libertador General San Martín, se adquiere la pulpa de celulosa.

El proceso investigativo abarca desde noviembre de 2023 hasta enero de 2024. Durante este período, se recopila la bibliografía sobre acondicionamiento acústico y las fichas técnicas de fabricantes de paneles fonoabsorbentes del mercado argentino. La obtención de la materia prima se lleva a cabo entre enero y febrero de 2024, y la fabricación de los paneles tiene lugar en febrero de 2024. Finalmente, el análisis de resultados se realiza entre febrero y marzo de 2024.

Este proyecto cuenta con la colaboración de la comunidad wichi en la provisión del chaguar. Esta participación no solo fortalece sus lazos comunitarios, sino que fomenta la valoración y preservación de sus tradiciones y recursos naturales. Asimismo, la donación de pulpa de celulosa por parte de la empresa Ledesma refleja un compromiso con

el desarrollo sostenible y la responsabilidad social corporativa. Esta acción beneficia al proyecto de investigación y puede tener un impacto positivo en la imagen de la empresa, demostrando su compromiso con las comunidades locales y el medio ambiente.

Metodología:

Procedimientos:

Norma ISO 354:

La norma ISO 354:2003 establece métodos para medir la absorción sonora en salas reverberantes y calcular los coeficientes de absorción sonora. Se basa en la diferencia en las condiciones acústicas de una sala con y sin material absorbente, midiendo el tiempo de reverberación en ambas situaciones para determinar la absorción sonora. Para llevar a cabo estas mediciones, se requiere un sistema de grabación que determine la pendiente promedio de la curva de decaimiento del tiempo de reverberación. Este sistema puede utilizar la promediación exponencial, donde se obtiene una curva continua como resultado, o la promediación lineal, donde se obtienen puntos discretos que representan la media en intervalos de tiempo específicos. Además, se utilizan filtros de tercio de octava que cumplen con la norma IEC 61260.

La norma también contempla el método de impulso integrado, que puede ser directo o indirecto, para medir la respuesta al impulso. Una vez obtenidas las mediciones, se evalúa la curva de decaimiento en bandas de tercio de octava con un rango de evaluación de 20 dB. Se calcula una línea de mínimos cuadrados sobre el rango de evaluación para determinar el tiempo de reverberación, que luego se promedia en cada banda de tercio de octava.

Método de la respuesta impulsiva integrada:

Método directo:

La respuesta al impulso puede medirse directamente utilizando una fuente de impulsos como un disparo de pistola, el estallido de un globo, un chispero o cualquier otra fuente sonora que produzca un impulso con un ancho de banda y una energía suficientes para cumplir los requisitos mencionados en el método de ruido interrumpido. En este caso, se optó por la explosión de globo debido a consideraciones prácticas y económicas, ya que es una fuente de sonido fácilmente disponible y que produce un impulso adecuado para las mediciones requeridas.

Montura tipo A:

La montura tipo A según la norma ISO 354:2003 se refiere a un método de montaje de muestras para medir el tiempo de reverberación en una habitación. En este método, la muestra se coloca directamente contra una superficie de la habitación, como el piso. Los bordes de la muestra también deben sellarse o cubrirse para evitar la absorción de sonido, a menos que estén expuestos en la instalación normal, en cuyo caso se incluyen en el cálculo del área de la muestra.

Para este proyecto, siguiendo la directriz de montura, se tuvo en cuenta los bordes del panel en el cálculo del área de la muestra de ensayo.

Cámara Reverberante:

La cámara reverberante es el espacio donde se llevan a cabo las mediciones y pruebas de absorción acústica. La sala utilizada para las mediciones se encuentra ubicada en la casa del investigador, en el barrio Tribuno de Salta capital, Argentina. Esta habitación se acondicionó para funcionar como una cámara reverberante,

manteniéndola sin ningún objeto en su interior. El piso es de cerámica, las paredes y el techo son de cemento, y cuenta con una puerta de madera y una ventana en una de las paredes. Se optó por una habitación mucho más pequeña a las recomendaciones dadas en la norma ISO 354: 2,95 m de ancho por 2,15 de largo, con una altura de 2,5 m. Volumen total = 15.86 m³

Aunque las dimensiones de la sala pueden considerarse pequeñas para una cámara reverberante estándar, fueron adecuadas para el propósito de este estudio, ya que el panel fonoabsorbente desarrollado está destinado a su uso en estudios de grabación caseros o pequeños. Esta elección se hizo teniendo en cuenta la necesidad de contar con soluciones acústicas efectivas y económicas para espacios de dimensiones reducidas.

Micrófono:

Se empleó un micrófono Audix TM1. Este micrófono omnidireccional de medición tiene una respuesta en frecuencia plana de 20 Hz a 20 kHz, aunque las frecuencias de interés del proyecto abarcaron desde los 100 hasta los 5000 Hz. El TM1 requiere alimentación phantom de 24-48 V y tiene un SPL máximo de 130 dB con distorsión menor al 1%, y un SPL máximo absoluto de 140 dB.

Siguiendo las especificaciones de la norma ISO 354, el micrófono obtuvo tres posiciones distintas para medir A1 y A2, posiciones previamente medidas y marcadas en el suelo de la cámara reverberante para asegurar la consistencia de los promedios.

ver Anexo Croquis 1

Placa de Sonido:

Para la captura de las señales acústicas en el proyecto, se utilizó una placa de sonido M-Audio.

Software de Control:

En el proceso de medición acústica, es fundamental realizar un promedio de varias mediciones realizadas en una misma posición de micrófono o altavoz para reducir la incertidumbre causada por desviaciones estadísticas. Para facilitar este proceso, se optó por el

software EQWizard o REW (Room EQ Wizard) en este proyecto. Este programa gratuito, ampliamente utilizado en la industria del audio y la acústica, ofrece la capacidad de superponer y promediar múltiples mediciones de respuesta de frecuencia.

Condiciones Ambientales:

La norma ISO 354 establece requisitos específicos para las condiciones ambientales durante las pruebas. La humedad relativa de la sala debe estar entre el 30% y el 90% y, la temperatura en la sala de pruebas debe ser de al menos 15 C° durante toda la prueba. Condiciones aseguradas durante la prueba con el control de un higrómetro CEM DT-3321

Expresión de Resultados:

Cálculo de los tiempos de reverberación T_1 y T_2 :

La expresión de los resultados del proyecto sigue las pautas establecidas en la norma, donde el tiempo de reverberación de la sala en cada banda de frecuencia se expresa mediante la media aritmética del número total de mediciones de tiempo de reverberación realizadas en esa banda de frecuencia.

Para calcular y expresar los tiempos de reverberación medios de la sala en cada banda de frecuencia sin y con la muestra de prueba, T_1 y T_2 respectivamente, se utilizarán al menos tres lugares decimales

Cálculo de A_1 , A_2 y A_T :

La determinación del área equivalente de absorción sonora de la sala de reverberación vacía, A_1 , en metros cuadrados, se calculará utilizando la fórmula:

$$A_1 = \frac{55,3 V}{c T_1} - 4 V m_1$$

Donde:

V es el volumen, en metros cúbicos, de la sala de reverberación vacía;

c es la velocidad de propagación del sonido en el aire, en metros por segundo;

T_1 es el tiempo de reverberación, en segundos, de la sala de reverberación vacía;

m_1 es el coeficiente de atenuación de potencia, en metros recíprocos, calculado según la norma ISO 9613-1 utilizando las condiciones climáticas que se han dado en la sala reverberante vacía durante la medición. El valor de m puede calcularse a partir del coeficiente de atenuación, α , que se utiliza en la norma ISO 9613-1 según la fórmula

$$m = \frac{\alpha}{10 \lg(e)}$$

El área de absorción acústica equivalente de la sala de reverberación conteniendo el espécimen de ensayo, A_2 , en metros cuadrados, se calculará mediante la fórmula:

$$A_2 = \frac{55,3 V}{c T_2} - 4 V m_2$$

Donde:

c y V tienen el mismo significado expresado anteriormente;

T_2 es el tiempo de reverberación, en segundos, de la sala de reverberación tras la introducción de la muestra de ensayo;

m_2 es el coeficiente de atenuación de potencia, en metros recíprocos,

calculado según la norma ISO 9613-1 utilizando las condiciones climáticas que se han dado en la sala reverberante vacía durante la

medición. El valor de m puede calcularse a partir del coeficiente de atenuación, α , que se utiliza en la norma ISO 9613-1 según la fórmula

$$m = \frac{\alpha}{10 \lg(e)}$$

El área de absorción acústica equivalente de la muestra de ensayo, A_T , en metros cuadrados, se calculará mediante la fórmula:

$$A_T = A_1 - A_2 = 55,3 V \left(\frac{1}{c_2 T_2} - \frac{1}{c_1 T_1} \right) - 4 V (m_2 - m_1)$$

Donde:

c es la velocidad de propagación del sonido en el aire a la

temperatura t_1 ;

c es la velocidad de propagación del sonido en el aire a la

temperatura t_2 ;

A, V, T, m tiene el mismo significado expresado anteriormente;

$1, 1', 1$

A_2, T_2, m_2 tiene el mismo significado expresado anteriormente.

Cálculo de A_s :

El coeficiente de absorción acústica A_s de un absorbente plano o de un conjunto especificado de objetos de ensayo se calculará mediante la fórmula:

$$A_s = \frac{A_T}{S}$$

Donde:

A_T es el área de absorción acústica equivalente de la muestra de ensayo, en metros cuadrados, calculada de acuerdo con el Cálculo de

A_1, A_2 y A_T ;

S es la superficie, en metros cuadrados, cubierta por el espécimen de ensayo

Repetibilidad:

Siguiendo las directrices de la norma ISO 354, la desviación estándar relativa del tiempo de reverberación T_{20} , evaluada en un rango de decaimiento de 20 dB, puede estimarse mediante la siguiente fórmula

$$\varepsilon_{20}(T)/T = \sqrt{\frac{2,42+3,59/N}{f T}}$$

Donde:

ε_{20} es la desviación estándar del tiempo de reverberación T_{20} ;

T es el tiempo de reverberación medido;

f es la frecuencia central de la banda de tercio de octava;

N es el número de curvas de decaimiento evaluadas.

Marco Teórico

Sonido:

El sonido puede definirse como un movimiento ondulatorio en el aire u otros medios elásticos, o como la excitación del mecanismo auditivo que da lugar a la percepción del sonido. La definición que se aplique dependerá del enfoque, ya sea físico o psicofísico (F. Alton Everest, 2001).

La acústica psicológica se ocupa de la descripción física de los estímulos sonoros y nuestras correspondientes percepciones. Se subdivide en dos enfoques:

El enfoque técnico se refiere a las capacidades básicas del sistema auditivo, como el umbral absoluto, el umbral de diferencia y el punto de igualdad subjetiva con respecto a distintos sonidos. Se supone que los atributos psicológicos, como el tono, el volumen, el ruido y la molestia, pueden cuantificarse mediante índices técnicos.

El enfoque psicológico utiliza estos índices como base para medir los atributos psicológicos correspondientes. Para hacerlo, se especifican estos atributos utilizando procedimientos de medición psicológica, como la clasificación o la escala de magnitud. Este enfoque no solo se centra en la media de los datos, sino también en la dispersión (desviación estándar) entre los datos individuales (F. Alton Everest, 2001).

Reverberación:

La reverberación se refiere al grado de persistencia del sonido en un espacio una vez que la fuente sonora se ha detenido. Este fenómeno está directamente relacionado con la velocidad a la que el sonido se atenúa en el ambiente y depende del nivel de absorción de las superficies en ese recinto. En resumen, una sala tendrá una reverberación mayor si el sonido persiste durante más tiempo antes de disiparse, lo que suele ocurrir en espacios con superficies poco absorbentes. Por lo tanto, la reverberación se asocia con la capacidad de un espacio para retener el sonido y está relacionada con la absorción acústica de sus superficies (A. Carrión, 1998).

Tiempo de Reverberación:

El tiempo que tarda el sonido en desaparecer en una sala se denomina tiempo de reverberación. El tiempo de reverberación es un aspecto importante del comportamiento del sonido en una sala. Si el sonido desaparece muy rápidamente, percibimos la sala como "muerta" y nos parece que escuchar o producir música en un espacio así no es gratificante. Por el contrario, cuando el sonido desaparece muy lentamente, percibimos la sala como "viva". (D. M. Howard, J. A. S. Angus 2009).

Absorción acústica:

La absorción del sonido ocurre cuando una onda sonora interactúa con un objeto físico. Esto sucede porque cuando una onda golpea un objeto, éste vibra y absorbe parte de la energía de la onda debido a las pérdidas por fricción interna del material. Además, cuando una onda choca con un material poroso, como tela o lana de roca, también hay una pérdida de energía debido a la interacción de la velocidad de la onda sonora con la superficie del material. Los materiales porosos tienen una mayor área de interacción debido a todas las fibras y agujeros, y por lo tanto, tienden a absorber más ondas sonoras. (D. M. Howard, J. A. S. Angus 2009).

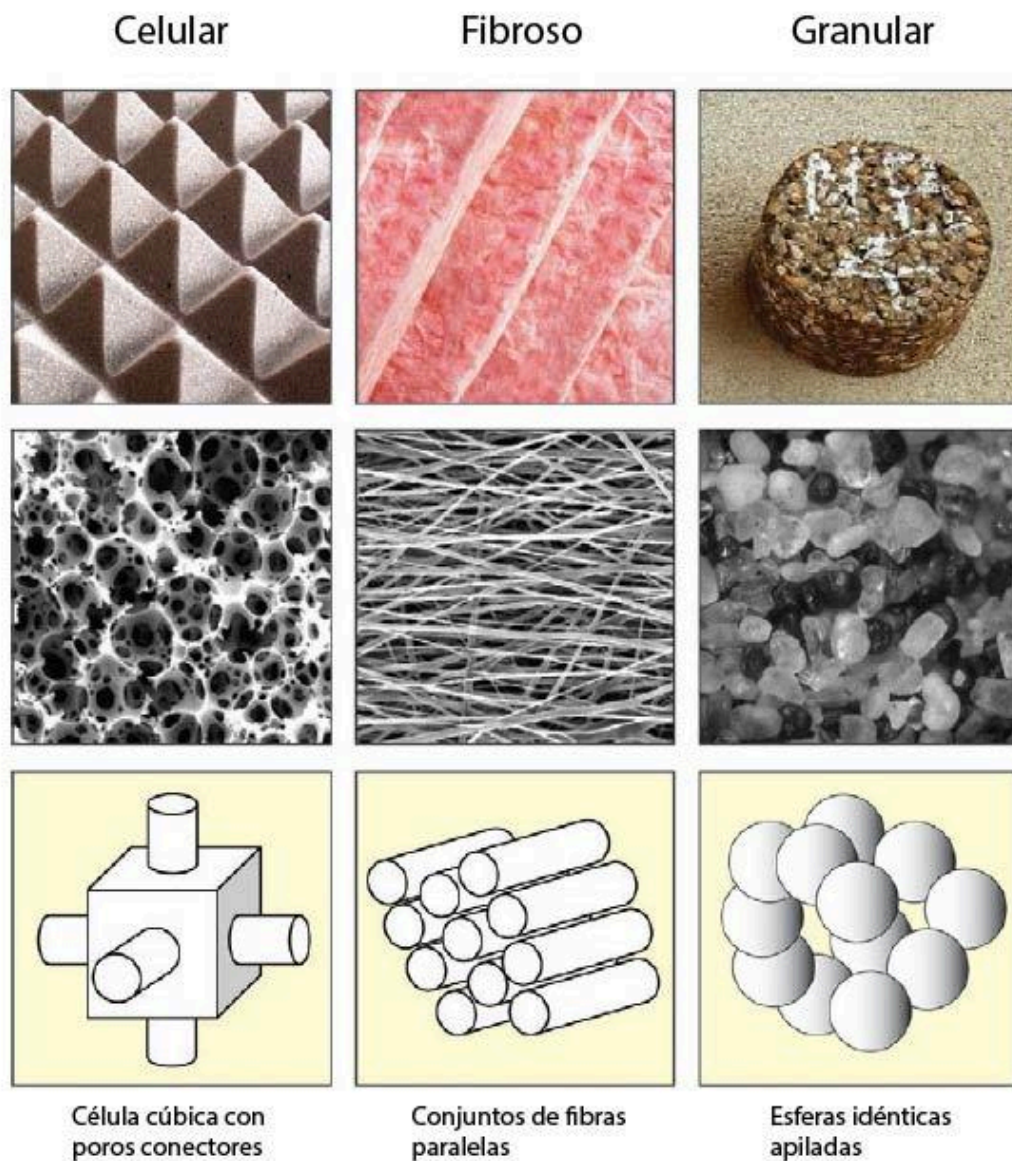
Coeficiente de Absorción:

El coeficiente de absorción del sonido se refiere a la cantidad de energía sonora que un material puede absorber cuando las ondas de sonido inciden en su superficie. Este coeficiente varía según el tipo de material y la frecuencia del sonido que lo impacta (C. M. Harrys. 1995).

Materiales fonoabsorbentes:

Existe una amplia gama de materiales fonoabsorbentes con propiedades de absorción que varían según la frecuencia, la composición, el grosor, el acabado superficial y el método de montaje. Sin embargo, los materiales con un coeficiente de absorción acústica elevado suelen ser porosos. Estos materiales porosos se pueden clasificar en celulares, fibrosos o granulares, según sus configuraciones microscópicas.

Los materiales porosos se caracterizan por permitir la entrada de ondas sonoras a través de pequeños orificios o aberturas en sus superficies. En el caso de los materiales celulares, como el poliuretano proyectado y las espumas, presentan una estructura porosa con poros distribuidos de manera uniforme. Por otro lado, los materiales fibrosos tienen una estructura en forma de túnel formada por vértices interiores en las fibras del material. Además, un material absorbente poroso también puede ser granular, con una estructura consolidada formada por cuerpos macroscópicos relativamente rígidos cuyas dimensiones superan a las de los huecos internos en muchos órdenes de magnitud, como los aglomerados (J. P. Arenas, 2010).



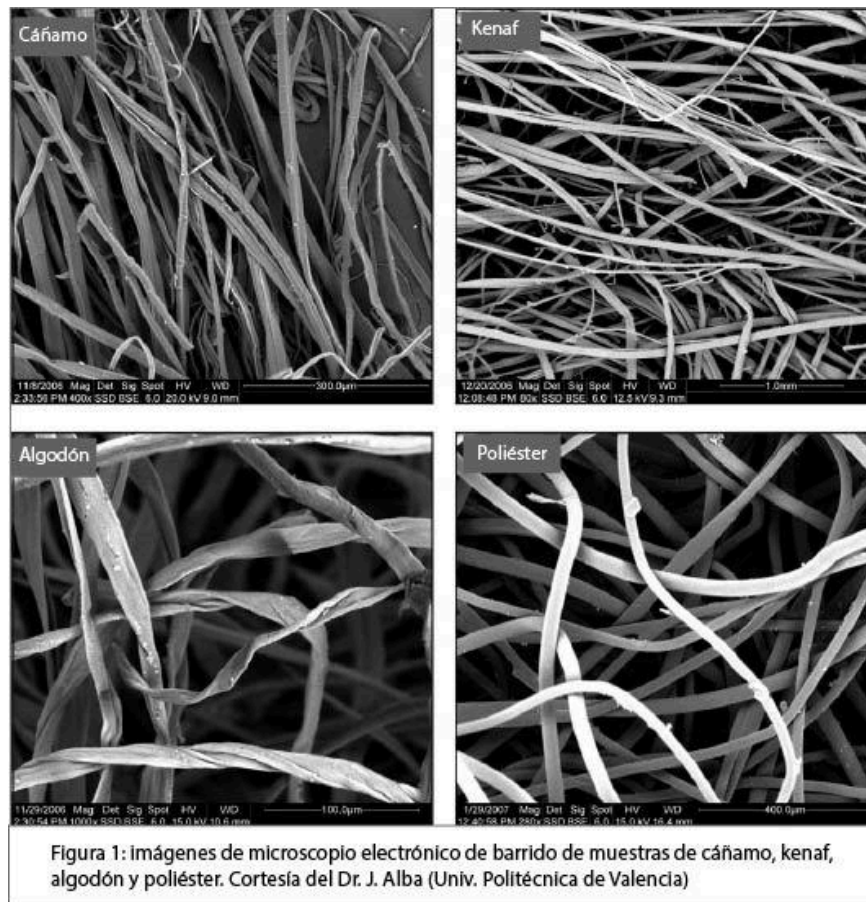
Recuperado: *Recent Trends in Porous Sound-Absorbing Materials*, Jorge P. Arenas, Malcom Crocker, 2010

Debido a sus cualidades biodegradables, ligeras, económicas, no tóxicas y no abrasivas, las fibras naturales están recibiendo mucha atención en los materiales compuestos como sustituto de las fibras sintéticas con fines de absorción acústica. Aunque los materiales absorbentes acústicos sintéticos tienen un rendimiento acústico superior debido a su diámetro más fino y su cualidad antifúngica, también tienen un mayor impacto ambiental que las fibras naturales (Ryszard M. Kozłowski, 2012)

El diámetro de la fibra es un parámetro microscópico importante que afecta las características de absorción acústica del material. En general, el diámetro de las fibras naturales tiende a ser mayor que el de las fibras sintéticas obtenidas por extrusión. Las imágenes de microscopio electrónico de barrido muestran que las fibras naturales tienen formas más irregulares y diámetros variables en comparación con las fibras sintéticas.

Tabla 1. Diámetro medio de diversas fibras industriales

Origen	Material fibroso	Diámetro de fibra, μm
Sintético	Cerámica	2-6
	Lana mineral (lana de roca,)	3-10
	Fibra de vidrio (ligamentos continuos)	6-13
	Lana de vidrio	3-7
	Grafito	5-10
	Basalto	7-13
	Bambú	14
	Polipropileno	5-25
	Poliéster	3-15
	Kevlar	12
Natural	Algodón	8-33
	Kenaf	21
	Cáñamo	22
	Madera	16-38
	Lino	19
	Bagazo	20
	Yute	20

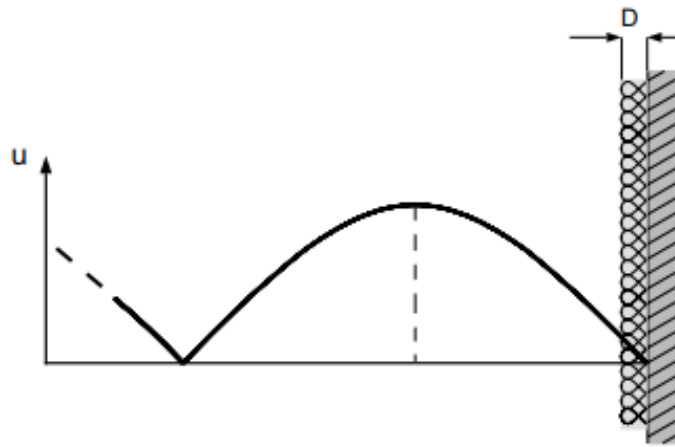


Recuperado: *Recent Trends in Porous Sound-Absorbing Materials*, Jorge P. Arenas, Malcom Croocker, 2010

Variación de la absorción en función del espesor del material:

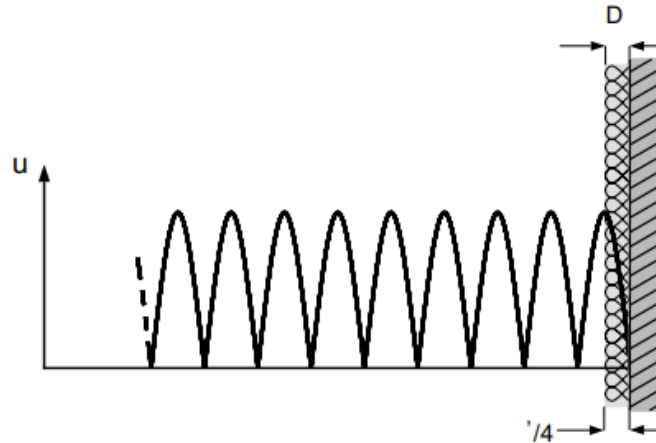
El coeficiente de absorción de materiales porosos aumenta significativamente a medida que aumenta su espesor. Este fenómeno se puede entender mejor en dos casos:

Cuando el espesor " D " es mucho menor que la longitud de onda del sonido " λ ", la absorción es baja. Las partículas de aire cerca de la superficie del material tienen una absorción mínima, ya que la fricción generada por estas partículas apenas convierte la energía sonora en calor (A. Carrión, 1998).



Recuperado : *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*. pág 78.

En el segundo caso, cuando el espesor "D" es comparable a un cuarto de la longitud de onda del sonido " $\lambda/4$ ", se produce un máximo de absorción de energía de la onda sonora. La velocidad dentro del material es máxima, lo que provoca una fricción significativa de las partículas de aire en las superficies del material y, en consecuencia, una transformación máxima de energía (A. Carrión, 1998).



Recuperado : *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*. pág 78.

Variación de la absorción en función de la porosidad del material:

Siguiendo la misma hipótesis anterior acerca de la disposición del material, se observa que a medida que aumenta la porosidad, la

absorción del sonido también aumenta en todas las frecuencias. Este resultado es predecible, ya que un mayor grado de porosidad permite una mayor penetración de la onda sonora incidente. La Figura 2 muestra cómo el coeficiente de absorción varía en relación con la frecuencia para un material específico con tres niveles de porosidad distintos. Esto se considera asumiendo que la onda sonora experimenta una significativa atenuación dentro del material (A. Carrión, 1998).

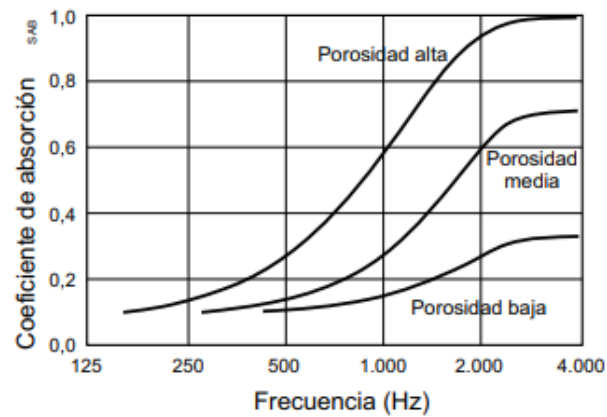


Figura 2

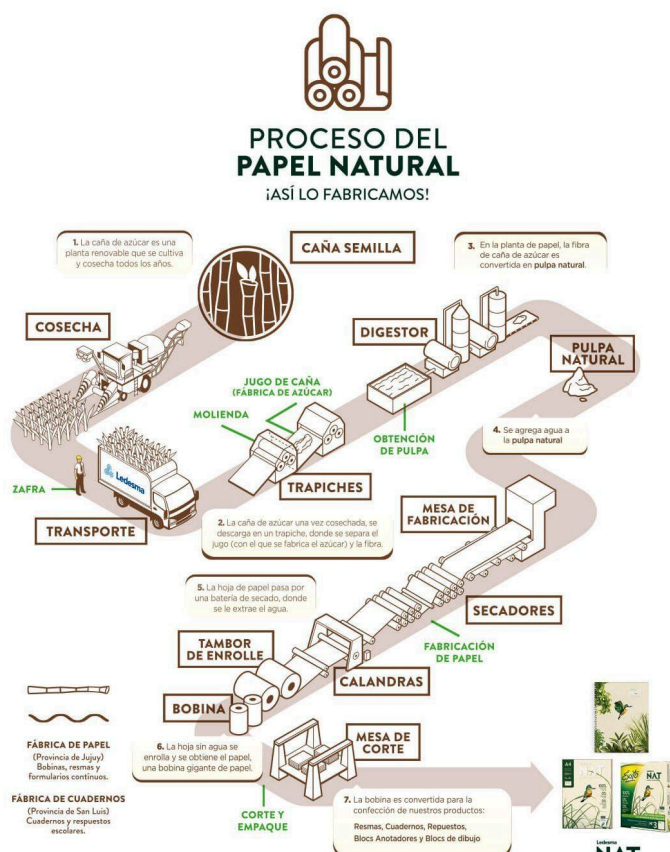
Recuperado : *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*. pág 79.

Marco Referencial

Pulpa de celulosa:

La pulpa de celulosa es un material fundamental en la industria papelerá, siendo la materia prima principal para la fabricación de papel. En este contexto, la empresa Ledesma destaca por su proceso de producción de papel a partir de fibra de caña de azúcar, el cual presenta ventajas significativas en términos de sustentabilidad y proceso productivo.

El proceso de obtención de papel a partir de fibra de caña de azúcar inicia en el cañaveral durante el período de zafra, que normalmente va de mayo a noviembre. En esta etapa, la caña de azúcar se cosecha, limpia y trocea en los trapiches, donde se separa el jugo de la fibra. Mientras el jugo se utiliza para la producción de azúcar, la fibra se destina a la producción de celulosa y papel.



Ledesma NAT. (2021). *Proceso del Papel Natural* [Imagen].

<https://www.ledesmanat.com.ar/nuestro-papel/>

La fibra de caña de azúcar se somete a un tratamiento biológico y se suspende en agua, para luego ser llevada a los digestores donde se cocina en soda cáustica y vapor para eliminar la lignina, un adhesivo natural que une las fibras entre sí. Este proceso resulta en una pulpa marrón que posteriormente pasa por filtros lavadores para separarla del licor negro, que se recupera para reutilizarlo una vez convertido en soda cáustica.

Es importante destacar que, a diferencia del proceso con madera, en el proceso con fibra de caña de azúcar no se realiza el proceso químico de blanqueo, lo que implica un menor uso de químicos y una menor carga ambiental.

La pulpa de celulosa marrón obtenida se transforma en una hoja de papel continua que es prensada y secada al vapor. Posteriormente, la hoja se alisa con el espesor deseado al pasar por un sistema de rodillos, y finalmente se forman rollos grandes que son cortados según los tamaños requeridos para los productos finales, como bobinas embaladas, resmas o formularios continuos

Chaguar:

El chaguar (*Bromelia serra*) es una planta nativa de América del Sur, ubicada en regiones chaqueñas de Argentina, Paraguay y Bolivia. Esta planta perenne se caracteriza por su resistencia y adaptabilidad a condiciones climáticas adversas, lo que la convierte en un recurso invaluable para las comunidades indígenas de la región.

Desde el punto de vista botánico, el chaguar presenta un hábito de crecimiento en roseta, con hojas largas y espinosas que contienen las fibras utilizadas en la fabricación de productos textiles y artesanales. Las hojas pueden alcanzar hasta 2 metros de longitud y tienen una disposición en espiral alrededor de un tallo central.

La planta se reproduce principalmente por semillas, que son dispersadas por el viento o por animales.



[Pintura planta de chaguar]. (2024)

<https://www.nortemio.com.ar/queeselchaguar/>

Una de las técnicas textiles más antiguas de Sudamérica se basa en el uso de las fibras del chaguar. Con estos hilos se tejían camisas de punto muy cerrado para los combates, piñeras para la pesca, mantos, bolsas desespadoras y otras vestimentas de la época. Aún en la actualidad, se continúan tejiendo redes de pesca, cunas para los niños, bolsos de acarreo, bolsas denominadas "yicas" (que sirven para el transporte, recolección y almacenamiento de alimentos), cuerdas, hamacas, polleras (faldas), cintos, hondas y otros objetos relacionados con el quehacer cotidiano, lo que evidencia la relevancia continua del chaguar en la vida de estas comunidades.



Cultura Digital Formosa. (2021). Etapas fibra de chaguar (Captura de pantalla) https://youtu.be/gI_FaVO4TKY

Trabajo de campo

Fabricación de paneles:

Descripción materiales:

El principal material es la pulpa de celulosa, la cual se tamiza para diferenciar los distintos tamaños de grumo y seleccionar los más pequeños (0.5 mm a 2 cm).



Los aglutinantes utilizados fueron acetato de polivinilo (cola vinílica) y yeso. Además se utilizó una malla soldada galvanizada 55x35 cm, 1x1, y por último la fibra de chaguar, utilizada como cubierta fibrosa.



Equipos :

Para llevar a cabo el proceso de fabricación de los paneles, se emplearon una serie de equipos e implementos esenciales. Un molde de madera, con dimensiones de 60x40 cm, actuó como contenedor para dar forma a los paneles. Para compactar la mezcla de pulpa de celulosa y aglutinantes, se utilizó una tapa como prensa sobre los moldes de madera. Esta prensa garantiza la compresión uniforme de los paneles y la eliminación del exceso de agua durante el proceso de fabricación. Para mejorar la resistencia interna de los paneles, también se les dio un esqueleto de malla galvanizada. Este esqueleto proporcionó una estructura adicional a los paneles, garantizando su integridad.



Además, se emplearon baldes y badilejos para lograr una mezcla homogénea y uniforme de los materiales. Una báscula fue fundamental para medir con precisión la cantidad de pulpa de celulosa y aglutinantes necesarios para cada panel, asegurando la calidad y consistencia de los mismos.

Fabricación:

Se humedece 1 kg de pulpa de celulosa con 1 L de agua hasta alcanzar un peso de 3kg. La pulpa humedecida se mezcla junto a 1,2 L de agua, 600 gr de yeso y 600 gr de cola.

El proceso de prueba y error fue fundamental para ajustar las proporciones de los materiales y garantizar la calidad y eficacia de los paneles fabricados.

Una vez preparada la mezcla de pulpa de celulosa y aglutinantes, se procede a verterla en el molde de madera. El proceso consiste en verter la mitad de la mezcla en el molde, luego colocar el esqueleto de alambre sobre esta capa y finalmente verter la otra mitad de la mezcla sobre el esqueleto. Este paso garantiza que el esqueleto de alambre quede completamente encapsulado en la mezcla.



Completada la colocación del esqueleto de alambre y la segunda capa de la mezcla en el molde, se procedió al proceso de prensado. Se aplicó un peso de 15 kg durante 2 hrs sobre la tapa del molde, utilizando una prensa manual.

Una vez prensados, los paneles fueron sometidos a un proceso de secado. Inicialmente, se colocaron en un horno a 150°C durante 3 horas para acelerar el proceso de secado. Posteriormente, los paneles fueron trasladados al exterior y expuestos al sol durante 5 horas, a una temperatura ambiente de aproximadamente 30 grados. Este proceso de secado final en condiciones naturales ayudó a completar el secado de los paneles de manera uniforme.

Para la capa exterior de chaguar se procedió previamente a un secado al sol de las fibras, ya que en el momento de la entrega se encontraban aún húmedas y verdes. El secado se realizó durante 4 días seguidos, 5 hrs por día, en los picos máximos de temperatura del día (30 a 33 C°).



Para fijar el chaguar a los paneles, se utilizó cola vinílica como adhesivo. El proceso consistió en separar secciones de fibra de chaguar de 4x40 cm. Estas secciones se dispusieron de manera transversal sobre la superficie de los paneles, garantizando una cobertura completa y uniforme. Una vez seccionado el chaguar, se aplicó la cola vinílica sobre la superficie del panel. Posteriormente, se colocó el chaguar sobre la cola vinílica, presionando suavemente para asegurar una adherencia óptima. Finalmente, se dejó secar la cola vinílica completamente para que el chaguar quedara firmemente fijado al panel.

Resultados

Dimensiones del panel final:

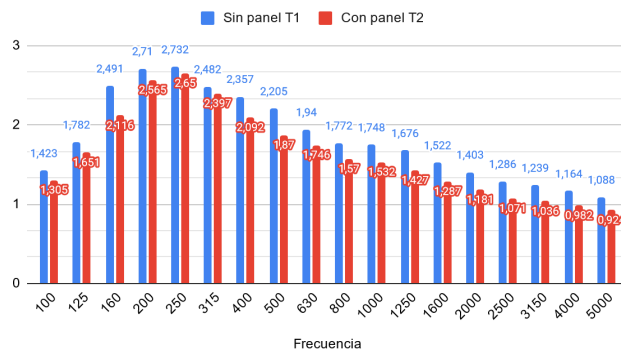
El panel fonoabsorbente final, con la cubierta de chaguar, tiene dimensiones de 60x40 cm (ancho x alto) y un grosor de 25 mm, con un peso total de 2 kg.



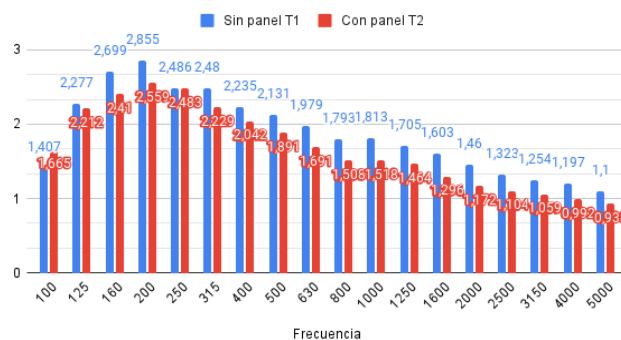
Tiempos de reverberación T_1 y T_2 :

Luego de promediar los datos obtenidos con las 3 posiciones de micrófono, se observa un decaimiento en el tiempo de reverberación en todas las bandas de frecuencia al introducir la muestra en la cámara reverberante.

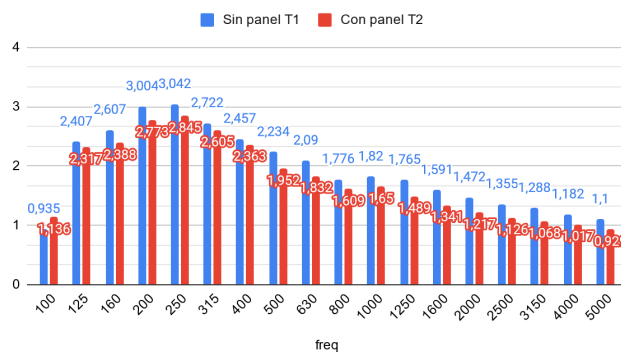
Micro. posición 1 (T30)



Micrófono posición 2 (T30)



Micro. posición 3 (T30)



RT Promedio

Frecuencia	T1	T2
100	1,26	1,37
125	2,16	2,06
160	2,60	2,30
200	2,86	2,63
250	2,75	2,66
315	2,56	2,41
400	2,35	2,17
500	2,19	1,90
630	2,00	1,76
800	1,78	1,56
1000	1,79	1,57
1250	1,72	1,46
1600	1,57	1,31
2000	1,45	1,19
2500	1,32	1,10
3150	1,26	1,05
4000	1,18	1,00
5000	1,10	0,93

Coeficiente de absorción acústica A_s :

A continuación se muestran los coeficientes de absorción acústica obtenidos por banda de tercio de octava.

Frecuencia	A_s
100	0,032
125	0,248
160	0,775
200	0,589
250	0,232
315	0,383
400	0,471
500	0,714
630	0,611
800	0,535
1000	0,525
1250	0,6
1600	0,623
2000	0,539
2500	0,448
3150	0,409
4000	0,139
5000	0,090

Análisis de los resultados :

Según los datos obtenidos, se observa que el tiempo de reverberación de la cámara es más alto sin paneles. El valor máximo de RT es casi de 3 segundos (2,98 segundos) a 200 Hz. Los valores mínimos surgen luego de la banda de 2000 Hz. Esto indica que los paneles fonoabsorbentes caseros pueden tener un impacto significativo en la reducción del tiempo de reverberación en diferentes frecuencias, especialmente entre 500 a 3150 Hz.

Comparación coeficiente de absorción con paneles del mercado:

En la comparación de los coeficientes de absorción acústica, se observa que los valores obtenidos para el panel fonoabsorbente casero son muy similares a los de las gamas bajas de los paneles comerciales predominantes en el mercado Argentino. Esta similitud es especialmente notable en las frecuencias medias y altas hasta los 2000 Hz. Este hallazgo sugiere que el panel casero es competitivo en términos de rendimiento acústico en comparación con los paneles comerciales de gama baja.

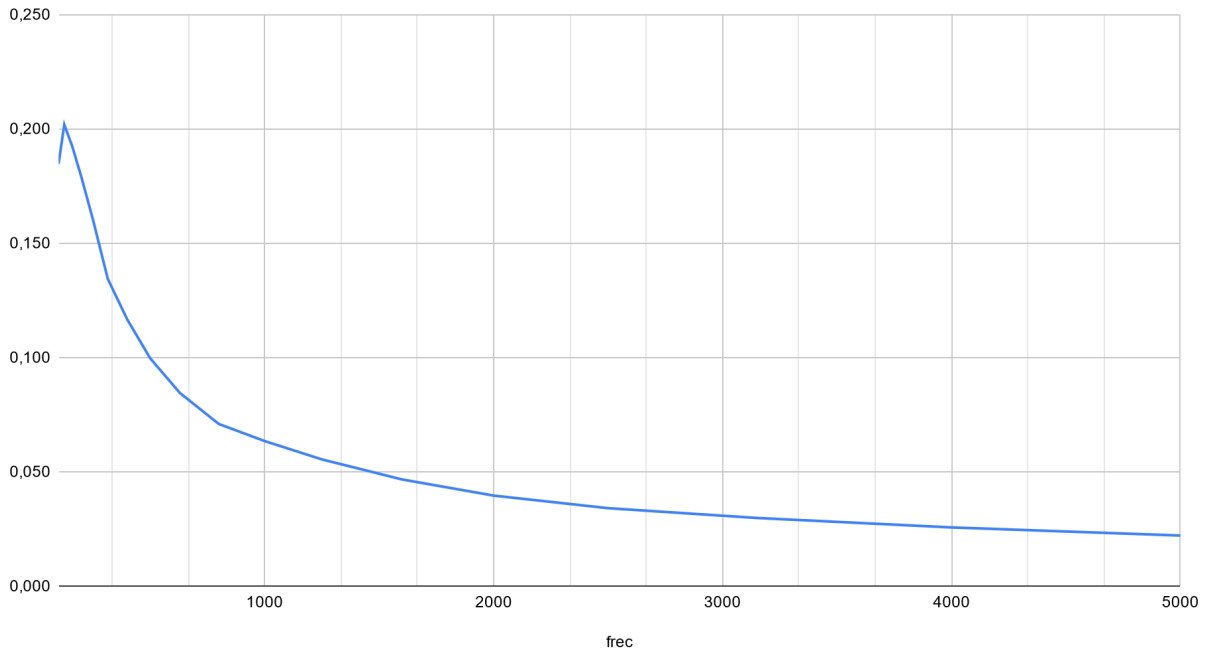
Panel	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Panel casero	0.24	0.23	0.71	0.59	0.53	0.13
Fonac Economy	0.15	-	0.42	0.64	-	0.81
Acuflex Basic Piramide	0.06	0.13	0.21	0.51	0.56	0.53
Acuflex Basic Saw	0.06	0.27	0.21	0.51	0.56	0.53
Acuflex Basic Liso	0.09	0.16	0.24	0.55	0.59	0.56

Tabla comparativa coeficientes de absorción, datos recuperados ficha de fabricante

Repetibilidad:

Se presentan los datos de repetibilidad según la norma ISO 354:2003

La desviación estándar relativa del tiempo de reverberación T20



Costos:

Durante los meses de enero y febrero de 2024, se llevaron a cabo las compras necesarias para la realización del proyecto. La pulpa de celulosa fue obtenida mediante donación de la empresa Ledesma, mientras que el chaguar utilizado como material de revestimiento se adquirió a la comunidad wichí. Para los aglutinantes, se utilizó cola vinílica, con un total de 1,2 kg a un costo de \$8.000/kg por kilogramo, y yeso, con 1,2 kg a un costo de \$1.000 por kilogramo.

Costo de producción dos paneles pulpa de celulosa y chaguar 60x40 cm

Concepto	Cantidad	Precio unitario	Costo Total (ARS)
Yeso	1.2 kg	\$1,000/kg	\$1,200
Cola vinílica	1.2 kg	\$8,000/kg	\$9,600
Chaguar	3 rollos	\$1,000/rollo	\$3,000
Maderas para molde	Base, paredes y tapa	\$12,000	\$12,000
Total			\$25,800

En cuanto al equipamiento necesario, se utilizaron herramientas básicas como una báscula, baldes y badilejo, que ya estaban disponibles y no generan costos adicionales. Para la construcción del molde de madera, que incluyó la base, las paredes y la tapa, se emplearon materiales por un total de \$12.000.

Es importante tener en cuenta que los precios mencionados no incluyen la inflación, por lo que el costo final puede variar.

Propuesta / Conclusiones

Además de su rendimiento similar en absorción acústica a paneles fonoabsorbentes del mercado, el panel casero presenta ventajas adicionales significativas. Su fabricación con pulpa de celulosa y chaguar lo hace altamente sostenible y respetuoso con el medio ambiente, en contraste con los materiales convencionales utilizados en los paneles comerciales. Asimismo, su naturaleza casera y el uso de materiales económicos lo convierten en una opción atractiva desde el punto de vista económico, especialmente para entornos como estudios caseros o aplicaciones de bajo presupuesto donde se requiere un buen desempeño acústico.

El panel casero destaca por su efectividad en las frecuencias clave entre 500 Hz y 2000 Hz, siendo una solución ideal para mejorar el diseño acústico en estudios caseros. Estas frecuencias son cruciales para la inteligibilidad del habla y la música, lo que significa que el panel puede mejorar significativamente la calidad del sonido en estos espacios. En un estudio casero, donde se graba voz y música, es fundamental contar con un entorno acústicamente tratado para evitar problemas de reverberación y resonancia que puedan afectar la calidad de las grabaciones. El panel casero ayuda a absorber estas frecuencias críticas, mejorando la claridad del habla y la música grabada.

Para potenciar la escalabilidad de la producción de los paneles caseros, se recomienda considerar la colaboración con Ledesma como un punto de partida, pero no como una solución definitiva. Es fundamental explorar oportunidades comerciales adicionales que garanticen un suministro constante y sostenible a gran escala. Esto podría incluir la negociación de acuerdos comerciales a largo plazo con Ledesma u otras empresas productoras de pulpa de celulosa. En relación con el chaguar, su uso como material de revestimiento requiere una consideración cuidadosa desde una perspectiva de sostenibilidad. Dado que el chaguar es un recurso local es crucial establecer prácticas de recolección sostenibles que garanticen su regeneración y conservación a largo plazo. Por otro lado, el uso del chaguar en los paneles caseros contribuye a la economía regional de las comunidades wichí, ya que promueve el uso sostenible de este recurso y fomenta prácticas de cultivo y recolección que respeten los ciclos naturales del mismo.

En cuanto a la fabricación de los paneles, los aglutinantes utilizados, como la cola vinílica y el yeso, son una opción viable económicamente. Sin embargo, es importante tener en cuenta que el uso de yeso puede plantear desafíos en términos de sostenibilidad. El

yeso requiere un proceso de extracción y producción que puede tener un impacto ambiental significativo. Por lo tanto, a medida que se considere la escalabilidad del proyecto, sería recomendable explorar alternativas más sostenibles para los aglutinantes, que puedan ofrecer un equilibrio adecuado entre viabilidad económica y sostenibilidad ambiental.

En el presente trabajo se identificaron ciertas limitaciones en relación con la implementación de la norma ISO 354. Una de las limitaciones principales se relaciona con el volumen de la sala utilizada para las mediciones de tiempo de reverberación. Dado que la norma establece requisitos específicos para el volumen de la sala de medición, se ha optado por una sala de menor tamaño, lo que podría afectar ligeramente la precisión de las mediciones.

Además, debido a restricciones de recursos y accesibilidad, se ha utilizado globos como método de respuesta impulsiva en lugar de métodos más avanzados de generación de impulsos acústicos. Aunque los globos pueden proporcionar respuestas impulsivas adecuadas, es importante tener en cuenta que esta elección puede introducir ciertas limitaciones en la exactitud de las mediciones y la cantidad de datos disponibles.

Para futuras investigaciones, se sugiere realizar ensayos de densidad y elasticidad para una mejor comprensión de las propiedades físicas del material. También se recomienda realizar ensayos en un tubo de Kundt para comprender mejor cómo se propaga el sonido a través del material. Esto podría ayudar a optimizar el diseño del panel para mejorar su capacidad de absorción acústica en diferentes frecuencias. En cuanto a la cubierta de chaguar, en este proyecto se pasó por alto el tratamiento estético de la misma y su utilización es puramente pragmática al tratarse de un material fibroso. Por lo tanto, se sugiere explorar opciones que no solo mejoren la estética, sino que también mantengan o mejoren las propiedades acústicas del panel, considerando la posibilidad de utilizar diferentes técnicas de tejido, tratamiento superficial u otros métodos que puedan contribuir a la funcionalidad y durabilidad del panel. Además, se sugiere investigar métodos para el tratamiento ignífugo de las fibras de chaguar, con el objetivo de mejorar la resistencia al fuego de los paneles.

BIBLIOGRAFÍA:

Alton Everest F. (2001). *Master Handbook Of Acoustics* [Manual maestro de acústica]. McGraw Hill Publishing Company.

Antoni Carrión Isbert (1998). *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*. Edicions UPC, Universitat Politècnica de Catalunya

Berg R.E., Stork D.G. (2005). *The Physics of Sound* [Física del Sonido]. Pearson Education Inc.

Blewitt J. (2008). *Understanding Sustainable Development* [Comprender el desarrollo sostenible]. Earthscan

Brundtland, G.H. (1987) *Our Common Future: Report of the World Commission on Environment and Development* [Nuestro futuro común: Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo]. Geneva, Documento de la ONU A/42/427.

Crocker M. (2007). *Handbook of Noise and Vibration Control* [Manual de control de ruidos y vibraciones]. Wiley

Harris M. Rodriguez J. Goenetxea A. (1995). *Manual de medidas acústicas y control de ruido* (Rodriguez J. Goenetxea A. trad.). McGraw Hill

Rossing T., Fletcher N. (2004) - *Principles of Vibration and Sound* [Principios de vibración y sonido]. Springer.

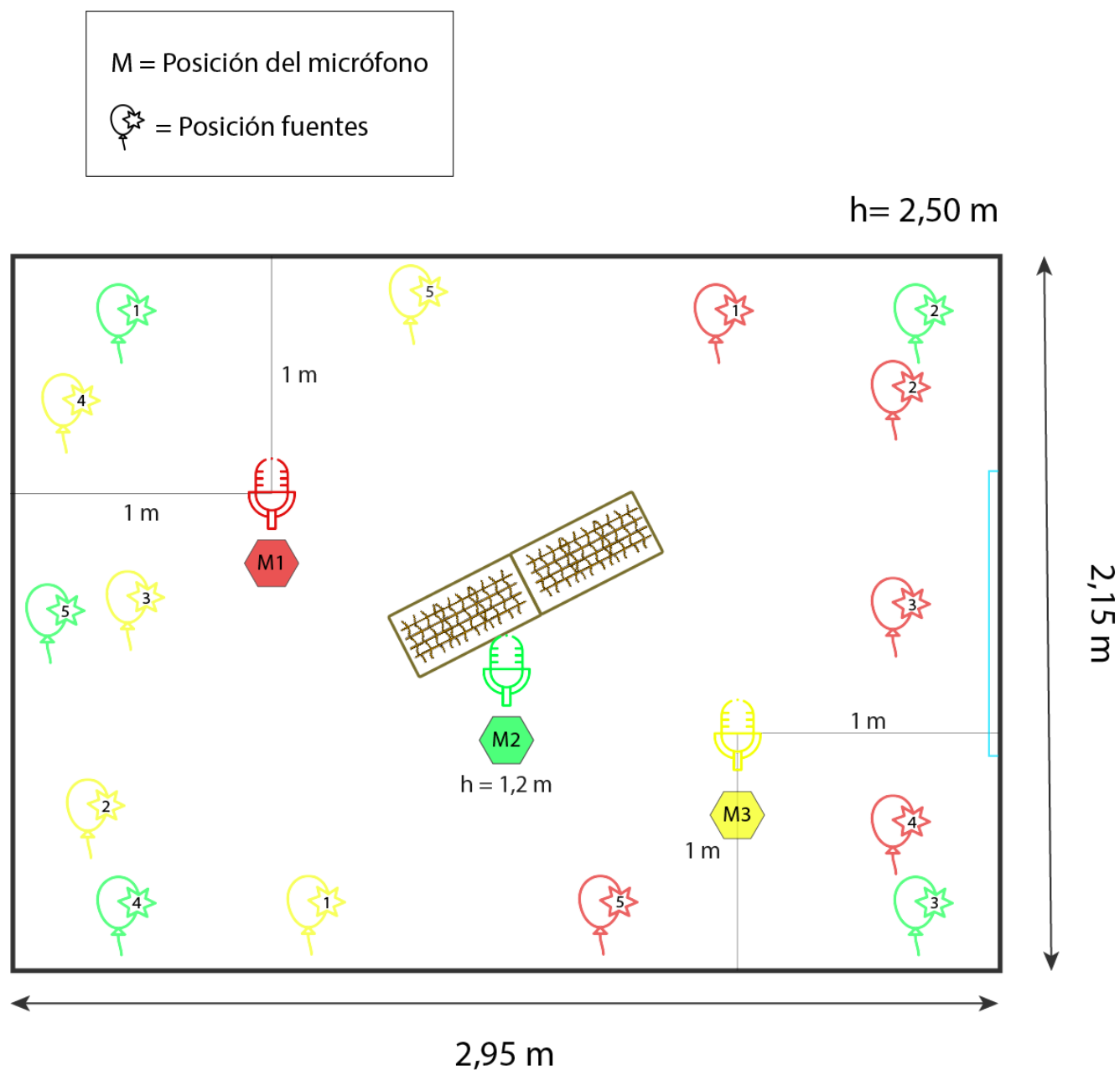
Sampieri R. (2014). *Metodología de la Investigación*. McGraw Hill Education.

Sharon L. Lohr (2009). *Muestreo: diseño y análisis* [Sampling: Design and Analysis]. Brooks/Cole

Ryszard M. Kozłowski (2012). *Handbook of Natural Fibres* [Manual de Fibras Naturales]. Woodhead Publishing Limited.

ANEXO

Croquis 1: Cámara reverberante, posición del micrófono, muestra y fuentes



Hoja de evaluación

Universidad Católica de Salta

Departamento de Comunicaciones

Facultad de Artes y Ciencias

Licenciatura en Imagen y Sonido

"Desarrollo y caracterización de paneles fonoabsorbentes a base de pulpa de celulosa y chaguar."

Alumno: Santiago Tomás Correa

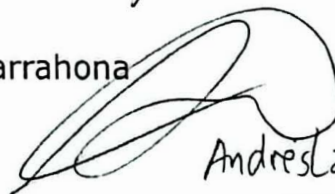
Director:

Lic. José Saavedra



José Saavedra

Ing. Andrés Larrahona



Andrés Larrahona

Evaluación:

Observaciones:

Argentina, Salta, Marzo 2024.